昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，April 2008，51(4)：402 – 410　　ISSN 0454-6296

珠江三角洲猪尸体上昆虫群落的演替及其对法医学中死亡时间推断的指示意义

王江峰[1]，李志钢[2]，余里聪[2]，陈强盛[2]，黄安海[3]，廖明庆[3]，谢云铁[3]，陈玉川[1,*]

(1. 广东警官学院刑事技术系，广州 510230； 2. 广州市公安局，广州 511400； 3. 中山市公安局，广东中山 528400)

摘要：为了解决刑事案件中死者死亡时间推断的难题，不同季节野外环境用 18 头猪尸体做模拟材料观察和筛选对推断死亡时间高度准确的昆虫指标。结果表明，幼虫开始出现时间、幼虫开始爬离时间、大部分幼虫爬离尸体的时间、开始化蛹的时间、大部分幼虫化蛹的时间、开始羽化的时间、羽化结束的时间等若干昆虫指标比较敏感且稳定可用作死亡时间的精确推断。在珠江三角洲春季、夏季及秋季尸体腐败很快，分别在 259 ± 23，202 ± 18，277 ± 20 h 进入白骨化期，而冬季则时间较长，约经过 1 297 ± 63 h 才进入白骨化期。大约有 47 种嗜尸性昆虫在尸体生态环境出现，大多数种类全年可见，尸体上的昆虫群落的优势种为大头金蝇 *Chrysomya megacephala*、绯颜裸金蝇 *Achoetandrus rufifacies* 及厚环黑蝇 *Hydrotaea* (*Ophyra*) *spinigera*。蝇类昆虫在尸体上只能大规模繁殖一代尸体即白骨化。根据以上结果可确定一些可用于死亡时间推断的关键时间点。

关键词：法医昆虫学；尸体腐败；昆虫演替；死亡时间推断；时间节点

中图分类号：Q961　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2008)04-0402-09

Succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in the Pearl River Delta region

WANG Jiang-Feng[1], LI Zhi-Gang[2], YU Li-Cong[2], CHEN Qiang-Sheng[2], HUANG An-Hai[3], LIAO Ming-Qing[3], XIE Yun-Tie[3], CHEN Yu-Chuan[1,*] (1. Department of Forensic Science and Technology, Guangdong Police College, Guangzhou 510230, China; 2. Bureau of Public Security of Guangzhou, Guangzhou 510080, China; 3. Bureau of Public Security of Zhongshan, Zhongshan, Guangdong 510080, China)

Abstract: In order to solve the difficulty of the determination of postmortem interval (PMI) in criminal cases, 18 pig carcasses were placed in outdoor environment in different seasons to observe and select the critical entomological index in accurately estimating of PMI. The results showed that these indexes, including T1 (larvae begin to appear), T2 (larvae begin to crawl away), T3 (most of the larvae have crawled away), T4 (larvae begin to pupate), T5 (most larvae have pupated), T6 (pupae begin eclosion) and T7 (the end of eclosion), could be used as accurate PMI indicators for their high sensitivity and stability. The carcasses decayed very quickly in spring, summer and autumn, and it took 202 ± 23 h, 202 ± 18 h, 277 ± 20 h for test carcasses to decay from fresh to skeleton in these seasons, respectively. In winter it took a longer time of 1 297 ± 63 h to decay from fesh to skeleton. About 47 insect species were found on carcasses. Most of the necrophagous insects could be found all the year, and there was no marked difference in species composition among the four seasons. The predominant species were very apparent. The fly larvae included mainly *Chrysomya megacephala*, *Achoetandrus rufifacies* and *Hydrotaea* (*Ophyra*) *spinigera*. The necrophagous insects could only breed one generation on carcasses before the carcasses become into skeleton in most of the time. Based on these results, critical time points for PMI estimation could be determined.

Key words: Forensic entomology; body decomposition; insect succession; postmortem interval estimation; time points

---

基金项目：国家自然科学基金(30100216)；广东省自然科学基金(001386,06011661)；公安部创新应用项目；中山市科委基金

作者简介：王江峰，1970 年 11 月生，陕西富平人，博士后，教授，硕士生导师，主要从事死亡时间、法医昆虫学研究，E-mail：wjf701125@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：CYC2800@163.com

收稿日期 Received：2007-06-12；接受日期 Accepted：2008-03-06

在自然界，当一个人或动物尸体出现后，大量嗜尸性昆虫会接踵而至，在尸体上繁殖、生长，这是一个以尸体为中心的群落演替过程。参与演替的昆虫的生长发育规律和演替能提供很多有关尸体的信息，特别是死亡时间。Mégnin(1894)最先发现昆虫在尸体上的演替规律，他指出：暴露于空气中的尸体约经历 8 个连续的腐败变化阶段，每一阶段均存在与之相应的节肢动物种类，据此可以对死亡时间做出比较正确的估计。他的思想和方法为以后绝大多数法医昆虫学者所证实。演替规律受到包括温度、湿度、光照、风力、尸体大小、地域差异等一系列因素的影响，只有调查清楚各地方昆虫在尸体生态环境的发生规律才可以用于法医学实践(Jason and James，2001；Amendt *et al*.，2004)。

在世界各地有关嗜尸性昆虫群落用于死亡时间推断的演替规律已经开展了较多研究，我国北京及杭州也开展了类似工作(Anderson，1996；周红章，1997；马玉堃，1997；Davis and Goff，2000；Wolff *et al*.，2001；Carvalho and Linhares，2001；Campobasso *et al*.，2001；Archer and Elgar，2003；Bourel *et al*.，2004；Arnaldos *et al*.，2004；Turchetto and Vanin，2004)。大部分研究侧重于尸体的降解特点、昆虫种类、各腐败阶段对应的昆虫类群及环境因素的影响。尽管国际社会围绕演替规律开展了大量研究，但是，由于国际上大多数研究主要依据并出现很不稳定的成虫，其次自然环境由于现代化的发展已经出现了较大发展，从而使得演替规律研究大多限于理论而没有走向应用。在实践中，法医昆虫学用于推断死亡时间的指标大多数是丽蝇的发育历期及幼虫体长规律而不是演替规律。而卵、幼虫和蛹等幼期阶段的昆虫在尸体上的出现与否及其发育进程和比例对于死亡时间推断非常重要。有鉴于此我们选择珠江三角洲为代表地点，采用全新的思维方式——时间节点法开展了本研究，通过对野外不同季节家猪尸体上重要嗜尸性昆虫的卵、幼虫、蛹、成虫出现及消失的观察，筛选对死亡时间推断有重要指示意义的时间性指标；同时也对尸体的腐败规律及昆虫群落在尸体上的其他演替规律做了观察。

1　材料与方法

1.1　试验动物

取 18 头近成年猪 *Sus scrofa* 尸体模拟尸体降解过程。其体重在 32 kg 与 67 kg 之间(平均为 50.83 kg。标准差为 2.69 kg)，与人类体重相近。

1.2　试验地点

尸体模拟地点位于广东省中山市的农村(东经 113°22′，北纬 22°31′)，属亚热带季风性气候。在本研究中模拟春夏秋冬等四个季节的野外环境。考虑到在一个地点作完一次模拟会增大该小环境的昆虫虫源基数，本实验选择了两个地方交替使用。猪尸体均置于树荫下避免阳光直射造成误差。每个尸体均用规格 2 m×2 m×1 m 的粗格铁丝笼罩着以防止狗等动物对尸体的取食破坏。

1.3　试验步骤

在不同季节放置猪尸体于野外环境使其自然腐败，其中春季开始实验日期为 3 月 31 日，夏季为 8 月 6 日，秋季为 10 月 22 日，冬季为 12 月 16 日。试验共持续了 2 年。试验最初 3 天连续观察，其后在 2 周以内每天 9:00 和 15:00 各观察 1 次，2 周以后每天观察 1 次直到尸体出现白骨化。利用 SPSS 11.0 统计软件进行数据统计分析。现场的温度和湿度利用浙江大学仪器厂生产的智能温湿度记录仪记录。使用 Catts 和 Haskell(1990)推荐的设备收集昆虫。研究中采用 Tullis 和 Goff(1987)所提出的尸体腐败阶段划分，整个过程划分为 5 个阶段，分别为新鲜期、肿胀期、腐败期、后腐败期及残骸期。

观察指标包括：各种类成虫飞来的时间、各种类成虫产卵的时间、卵孵化出现 1 龄幼虫的时间、2 龄幼虫开始出现的时间、2 龄幼虫大量出现的时间、出现 3 龄幼虫的时间、3 龄幼虫开始停止取食并爬离尸体的时间、3 龄幼虫大量停止取食并爬离尸体的时间、3 龄幼虫开始化蛹的时间、3 龄幼虫大量化蛹的时间、蛹开始羽化的时间、蛹大量羽化的时间、羽化结束的时间。

对蝇类幼虫体长的测量主要测量两种大头金蝇和绯颜裸金蝇幼虫，每次将采集到的幼虫置于 XA (二甲苯:乙醇 = 1:1)溶液，而后置入 75% 乙醇溶液中带回室内，在体视显微镜下进一步确认种类，测量体长。

2　结果与分析

2.1　尸体腐败过程及历程

自家猪被处死开始猪尸体遵循以下腐败过程：首先肌肉松弛，然后尸体温度逐渐下降，出现尸僵，出现尸斑，产生尸臭，尸体逐渐肿胀，尸体自然开口有液体渗出，肿胀到一定程度，尸体即破开；皮肤变

褐变黑,头部骨头露出,头部肌肉被吃光,腹部肌肉被吃光,四肢骨头露出,胸部肌肉组织被吃光,尸体只剩余毛皮、骨头及软组织,尸体骨骼包膜消失、尸体组织散开。

尸体各腐败阶段的历期见图 1。可以看出,夏天历期最短,经过 202 ± 15 h 即进入白骨化阶段;春季和秋季分别约经过 259 ± 18 h 和 277 ± 20 h 出现白骨;冬季时间最长,大约经过 1 297 ± 63 h 进入白骨化。

2.2 主要嗜尸性昆虫种类

大约发现 47 种嗜尸性昆虫,他们分别属于 6 个目 20 个科的种类,详见表 1。其中尸体上的昆虫的优势种群为大头金蝇、绯颜裸金蝇和厚环黑蝇。

2.3 昆虫在模拟现场的变态与发育的时间性指标

在珠江三角洲蝇类昆虫在尸体上只能发生一代。尸体的大部分组织即被吃光而不适合昆虫生存,在所有的试验中,除了由于下雨导致尸体变湿从而有少量第 2 代出现外,我们没有发现蝇类大规模繁育第 2 代的情况出现。不同种类的蝇类到达尸体的时间不同,但大部分都在最初的 1～3 天到达了尸体。当它们到达尸体时,很快会产下子代。卵不会产在爬满幼虫的部位。早出现的幼虫可能吃掉晚出现的幼虫从而对其种群数量产生抑制作用,这样使得在尸体同一部位的幼虫的成熟期趋于一致。尸体上昆虫的种群构成比较简单。在早期大头金蝇和绯颜裸金蝇占大多数,而后期厚环黑蝇占大多数。

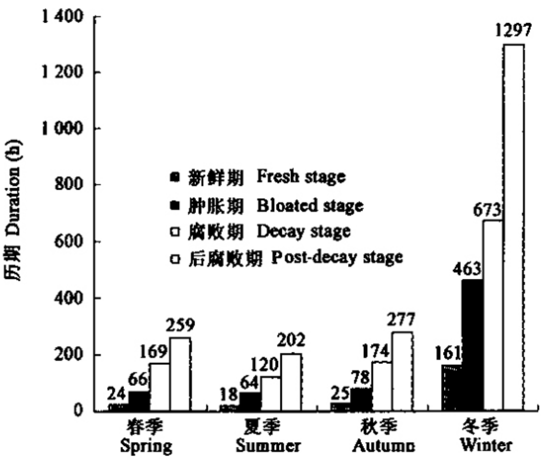

图 1 不同季节尸体腐败历期(广东中山,2003－2005)

Fig. 1 Pig carcasses decay duration in different seasons (Zhongshan, Guangdong, 2003－2005)

表 1 珠江三角洲主要嗜尸性昆虫种类(广东中山,2003－2006)

Table 1 Main necrophagous insects of the delta region of Pearl River (Zhongshan, Guangdong, 2003－2006)

目 Order	科 Family	属或种 Genus or species
双翅目 Diptera	丽蝇科 Calliphoridae	大头金蝇 *Chrysomya megacephala*, 绯颜裸金蝇 *Achoetandrus rufifacies* (Macquart), 乌足锡蝇 *Ceylonomyia nigripes* Aubertin, 肥躯金蝇 *Chrysomya pinguis* (Walker), 丝光绿蝇 *Lucilia sericata* (Meigen), 铜绿蝇 *Lucia cuprina* (Wiedemann), 南岭绿蝇 *Lucilia* (*Luciliella*) *bazini* Séguy
	麻蝇科 Sarcophagidae	黄须亚麻蝇 *Parasarcophaga ruficornis* (Fabricius), 白头亚麻蝇 *Parasarcophaga albiceps* (Meigen), 褐须亚麻蝇 *Parasarcophaga sericea* (Walker)
	蝇科 Muscidae	家蝇 *Musca domestica* Linnaeus, 黄腹家蝇 *Musca ventrosa* Wiedemann, 厚环黑蝇 *Hydrotaea* (*Ophyra*) *spinigera* Stein, 斑蜓黑蝇 *Opyra chalcogaster* (Wiedemann)
	鼓翅蝇科 Sepsidae	1 种 One species
	水虻科 Stratiomyidae	黑水虻 *Hermetia illucens* (L.)
	蚤蝇科 Phoridae	未鉴定种 Species undetermined
鞘翅目	阎甲科 Histeridae	丽腐阎甲 *Saprinus splendens*, 介真阎甲 *Merohister jekeli* (Marseul), *Saprinus optabilis* Marseul, *Altholus depister* (Marseul)
Coleoptera	隐翅甲科 Staphylinidae	大隐翅甲 *Creophilus maxillosus*, 锈毛隐翅甲 *Platydraus* sp., 前角隐翅甲亚科 1 种 One species of *Aleocharinae*
	郭公甲科 Cleridae	赤足郭公甲 *Necrobia rufipes* (DeGeer), 赤颈郭公甲 *Necrobia ruficollis* (Fabricius)
	埋葬甲科 Silphidae	*Diamesus osculand* (Vigors)
	皮蠹科 Dermstidae	白腹皮蠹 *Dermestes maculatus* (DeGeer)
	金龟甲科 Scarabaeidae	似牛嗡蜣螂 *Onthophagus taurinus* White, 群嗡蜣螂 *Onthophagus proletarius* Harold
	露尾甲科 Nitidulidae	*Cychramus* sp.
	叩甲科 Elateridae	蔗根平额叩甲 *Chiagosnius obscuripes* (Gyllenhal)
	牙甲科 Hydrophilidae	*Sphaeridium seriatum* d'Orch.
膜翅目	胡蜂科 Vespidae	黑盾胡蜂 *Vespa bicolor bicolon* F., 黄腰胡蜂 *Vespa affinis affinis* (L.), 黑胸胡蜂 *Vespa velutina nigrithorax* Buysson, 细侧黄胡蜂 *Paravespula flavices flaviceps*
Hymenoptera	蚁科 Formiçidae	猎镰猛蚁 *Harpegnathos venator* (F.Smith), 近缘巨首蚁 *Pheidologeton affinis* (Jerdon); 杂色弓背蚁 *Camponotus variegatus* (F. Smith)
蜱螨目 Acarina		1 种 One species
蜚蠊目 Blattaria		1 种 Ones species

观察发现各种类的以下时间性指标容易被识别出来且不同时间组间差异不显著，可用作死亡时间推断的指示性指标，分别为：T1（幼虫开始出现时间）、T2（幼虫开始爬离时间）、T3（大部分幼虫爬离尸体的时间）、T4（开始化蛹的时间）、T5（大部分幼虫化蛹的时间）、T6（开始羽化的时间）、T7（羽化结束的时间）。

表 3　不同季节蝇类昆虫在尸体上发育及变态的时间关键点（平均值 ± *SE*）

Table 3　The key time-points in the metamorphism and development process of fly larvae (mean ± *SE*)

关键时间点 Key time-points (d)	春季 Spring			夏季 Summer		
	大头金蝇 *C. megacephala*	绯颜裸金蝇 *A. rufifacies*	厚环黑蝇 *H. spinigera*	大头金蝇 *C. megacephala*	绯颜裸金蝇 *A. rufifacies*	厚环黑蝇 *H. spinigera*
T1	0.91 ± 0.06		7.27 ± 0.31	0.88 ± 0.05		4.81 ± 0.84
T2	5.5 ± 0.28			4.13 ± 0.13		
T3	7.44 ± 0.33			4.45 ± 0.17		
T4	8.12 ± 0.16	8.92 ± 0.28	38 ± 1.58	5.36 ± 0.21	5.64 ± 0.16	23.75 ± 1.49
T5	9.06 ± 0.16	10.75 ± 0.48	42.5 ± 1.04	6.38 ± 0.24	7.9 ± 0.14	25.25 ± 0.85
T6	13.5 ± 0.65	13.93 ± 0.27	50.75 ± 1.49	10.13 ± 0.66	9.75 ± 0.48	28.25 ± 1.7
T7	15.25 ± 0.95	16.25 ± 0.48		11.63 ± 0.55	11.75 ± 0.43	

关键时间点 Key time-points (d)	秋季 Autumn			冬季 Winter		
	大头金蝇 *C. megacephala*	绯颜裸金蝇 *C. rufifacies*	厚环黑蝇 *H. spinigera*	大头金蝇 *C. megacephala*	绯颜裸金蝇 *C. rufifacies*	厚环黑蝇 *H. spinigera*
T1	0.83 ± 0.08		6.73 ± 0.32	2.6 ± 0.21	2.83 ± 0.24	15.25 ± 1.43
T2	4.29 ± 0.12			15.03 ± 1.11		
T3	4.79 ± 0.12			18 ± 0.7		
T4	6.67 ± 0.14	7.85 ± 0.24	33.25 ± 1.8	20 ± 1.29	19.25 ± 1.43	
T5	8.1 ± 0.1	8.92 ± 0.17	39 ± 1.58	25.88 ± 0.83	27.25 ± 1.49	
T6	12 ± 0.2	13.54 ± 0.35	45 ± 1.29	28.75 ± 1.11	30.5 ± 1.65	
T7	14.27 ± 0.42	14.85 ± 0.20		31.83 ± 0.13	32.25 ± 1.03	

T1：幼虫开始出现时间 Larvae begin to appear；T2：幼虫开始爬离时间 Larvae begin to crawl away；T3 大部分幼虫爬离尸体的时间 Most larvae have crawled away；T4：开始化蛹的时间 Larvae begin to pupate；T5：大部分幼虫化蛹的时间 Most larvae have pupated；T6 开始羽化的时间 Pupae begin eclosion；T7：羽化结束的时间 The end of eclosion.

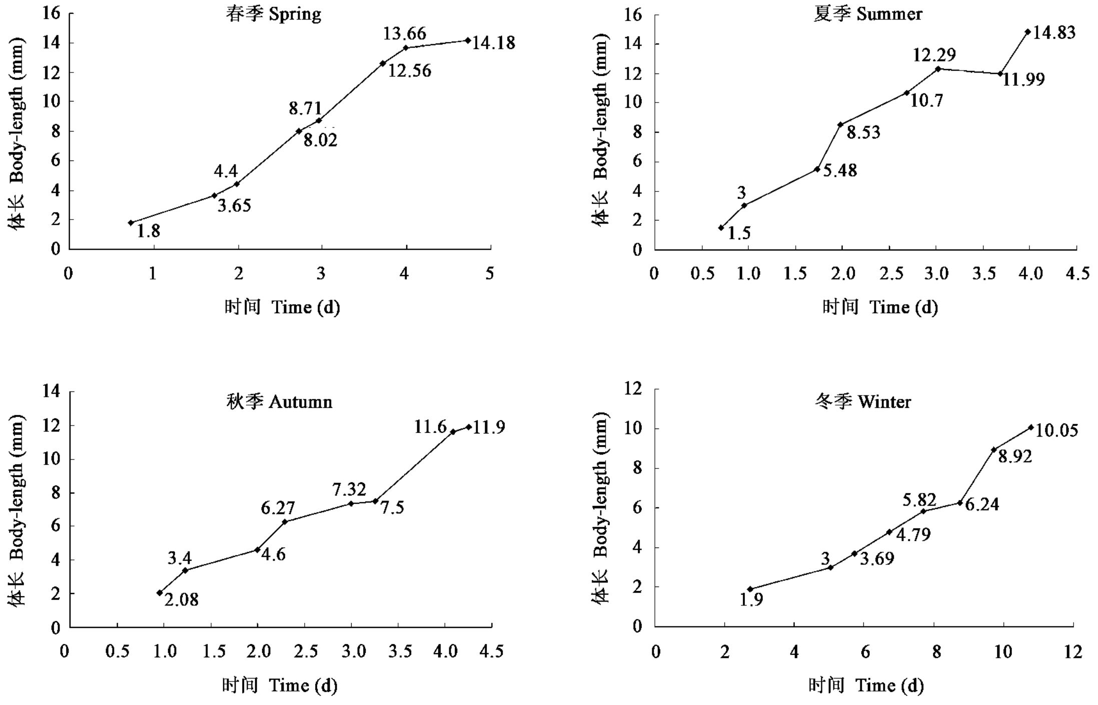

图 2　不同季节大头金蝇幼虫体长随死亡时间的变化

Fig. 2　The change of larval body length of *C. megacephala* with PMI in different seasons

2.4 蝇类体长与死亡时间的关系

图 2 为 4 个季节试验环境下大头金蝇在不同调查时间的体长值的散点图。由于绯颜裸金蝇幼虫被用 XA 液处理时常卷缩成球状，所以没有测量其体长。其次由于时间数值少也没有进行直线及曲线模拟。可以看出，幼虫体长随着时间的推移而增长，在春、夏、秋等季节均在 5 天以内达到最大体长，而冬季在第 11 天左右才达到最大体长。春季及夏季幼虫最大体长均较大，分别为 14.18 mm 和 14.85 mm，而秋季和冬季最大体长值小，分别为 11.9 mm 和 1.05 mm。

2.5 嗜尸性昆虫在尸体上的演替规律

在珠江三角洲，大部分嗜尸性昆虫全年可见，在 4 个季节昆虫种类没有明显差异。本研究所重点观察的 7 种昆虫，除皮蠹在冬季不出现外，其余均出现了。7 种昆虫在尸体生态环境出现的情况见表 2 ~ 5。

在春、夏、秋 3 个季节，大头金蝇成虫有两个发生高峰，第 1 个在尸体腐败早期肌肉组织尚未被食尽前，其中春天在 1 – 10 天、夏天在 1 – 15 天，秋天在 1 – 8 天。第 2 次在成虫羽化以后，此时成虫主要在尸体周围的植被上，可明显被辨认出。冬季则比较复杂，主要受气温影响，在调查的尸体尚未变干的 2 个月，只要气温较高均出现。

大头金蝇幼虫在尸体上出现最早，春、夏、秋、冬各季节在尸体上的出现时间为：2 – 20 天、1 – 5 天，1 – 7 天、3 – 32 天。

绯颜裸金蝇成虫出现和大头金蝇几乎一致。

绯颜裸金蝇幼虫春、夏、秋、冬各季节在尸体上的发生时间分别为 2 – 20 天、2 – 14 天、2 – 12 天、3 – 58 天，出现比大头金蝇稍晚，但持续时间远比大头金蝇时间长。在调查现场可以看到，当尸体上只有 1 龄幼虫时，无法分辨种类；出现 2 龄以后，可以看到大部分都为大头金蝇、少量绯颜裸金蝇夹杂在其中，其后绯颜裸金蝇数量逐渐增多，此时大头金蝇和绯颜裸金蝇常常分别各自成堆出现，只有少量混杂，大头金蝇和绯颜裸金蝇数量基本一样多，其后绯颜裸金蝇数量继续增多，而大头金蝇相对减少，此时可以看到尸体上大部分为绯颜裸金蝇，只有少量为大头金蝇，大批大头金蝇分布在尸体周围；最后，尸体上将主要为绯颜裸金蝇幼虫。

黑蝇在尸体上的出现时间比大头金蝇和绯颜裸金蝇晚，成虫在春、夏、秋、冬季发生时间分别为：4 – 50 天、2 – 70 天、4 – 46 天、7 – 74 天；幼虫在春、夏、秋、冬发生时间分别为 8 – 38、4 – 70 天、6 – 46 天及 19 – 78 天。可以看出，黑蝇在尸体上的存在时间比较长，自出现后，直到观察结束幼虫皆在尸体上出现，而成虫虽然自出现到观察结束的大部分时间皆

表 2 春季嗜尸性昆虫的演替

Table 2 Succession of necrophagous insects on carcasses in spring

PMI(d)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	34	38	42	46	50	54
Ⅰ	A	+	++	+++	+++	++	++	+	+	+	−	−	−	+	+	+	+	++	+	+	+ −	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−
	L	−	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅱ	A	+	++	+++	+++	++	++	+	+	+	−	−	−	+	++	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−
	L	−	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅲ	A				+	+	+	+	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+	+					+	+	+	+	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−
Ⅳ	A	−	−	+	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	−	−	+	−		+	+	+	+	−	−	−	−	+	+	+
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅴ	A	−	−	−	−	+	+	+	+++	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+		++	++	++	++	++	+	+	+	+		+
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅵ	A	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
Ⅶ	A	−	−	+	+	+	+	+	+	++	++	++	++	++	+	++	+	+	++	+	++	++	−	−	−	−	++	++	+	+	−	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−

Ⅰ：大头金蝇 *C. megacephala*；Ⅱ：绯颜裸金蝇 *Achoetandrus rufifacies*（Macquart）；Ⅲ：厚环黑蝇 *Hydrotaea*（*Ophyra*）*spinigera* Stein；Ⅳ：丽腐阎甲 *Saprinus splendens*；Ⅴ：赤颈郭公甲 *Necrobia ruficollis*（Fabricius）；Ⅵ：白腹皮蠹 *Dermestes maculatus* DeGeer；Ⅶ：大隐翅甲 *Creophilus maxillosus*. 字母 A 代表成虫、L 代表幼虫；+ 代表出现少量昆虫，对于蝇类，一般指 10 头以下，甲虫一般指 5 头以下；+ + 代表出现中等量昆虫，对于蝇类一般指 10 ~ 50 头之间，对于甲虫一般指 5 ~ 10 头之间；+++ 代表出现大量昆虫，对于蝇类一般指 50 头以上，对于甲虫一般指 10 头以上。未填的空格代表未观察到昆虫。Letter A indicates insect adult, and L indicates larva. + indicates a small number of individuals presented, *i.e.*, less than 10 individuals of flies or 2 individuals of beetles; + + indicates a moderate number of individuals presented, *i.e.*, the number of flies is between 10 and 50 or the number of beetles is between 2 – 10; +++ indicates a large number of individuals presented, *i.e.*, the number of flies is higher than 50 or the number of beetles is higher than 10. The blank represents that no individuals were present. 下同 The same below.

表 3　夏季尸体腐败时间及嗜尸性昆虫的演替(2004 年 8 月 5 日河边)

Table 3　Succession of necrophagous insects on carcasses in summer (Riverside，August 5，2004)

PMI (d)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70
Ⅰ	A	+++	+++	++	+	+	−	−	−	−	++	++	++	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	+++	+++	+++	++	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅱ	A	++	+++	++	++	+	−	−	−	−	−	−	+++	++	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅲ	A		+	+	++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+	+	+	+	−	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	+	−	−	−
	L	−	−	−	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ⅳ	A		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	+	+	−	−	−	+	+	++	+	+	+	+	
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ⅴ	A		+	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅵ	A	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	L	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ⅶ	A	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−

表 4　秋季尸体腐败时间及嗜尸性昆虫的演替

Table 4　Succession of necrophagous insects on carcasses in autumn

PMI(d)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	34	38	42	46
Ⅰ	A	+	+	+	+	+	+	+	+		−	−	−	−	−	−	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	+	+++	+++	+++	+++	++	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅱ	A	−	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	++	++	++	++	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅲ	A	−	−	−	+	+	++	++	+	+	+	++	−	++	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	L	−	−	−	−	−	+	+		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ⅳ	A	−	+	+	++	+++	+	+++	+++	+	+	+	++	+	++	++	+	++	++	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅴ	A	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	++	++	+++	++	+	++	++	+	++	++	+	−	+	+++	+	+	−	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	++	+	−	+	+	−	−	−	−	−	−	−
Ⅵ	A	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	++	+	+++	+++	+++	+	+++	+++	−
Ⅶ	A	−	−	−	−	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−

出现,但中间有间断。

丽腐阎甲成虫在尸体上的发生时间春、夏、秋、冬分别为 3 – 54 天、2 – 66 天、2 – 20 天和 13 – 78 天,中间皆有间断;丽腐阎甲幼虫在尸体上的发生时间春、夏、秋、冬分别:16 – 20 天、14 – 70 天、8 – 22 天、28 – 74 天。

赤颈郭公甲和赤足郭公甲几乎同时发生,所以只记录了赤颈郭公甲。其成虫在春、夏、秋、冬各季节的出现时间分别为:5 – 54 天、2 – 26 天、6 – 38 天、24 – 78 天,幼虫没有观察到。

白腹皮蠹成虫在春、夏、秋的发生时间为:28 – 54 天、8 – 70 天、5 – 42 天,冬天不发生。幼虫的发生时间为:28 – 54 天、8 – 70 天、20 – 42 天。

隐翅甲成虫的出现时间为:3 – 46 天、2 – 14 天、5 – 9 天、14 ~ 78 天。幼虫在春季和秋季均没有发现,夏天在 6 – 66 天发现,冬天只在第 20，48，50 天被发现。

3　讨论

嗜尸性昆虫在尸体上的发生规律用于刑事案件腐败尸体的死亡时间推断已被证明是可行的,但在应用前必须明确不同地方和地区嗜尸性昆虫的演替规律。在全世界各地已经进行了大量有关昆虫在尸体上的演替规律的研究。这些研究采用狗(Reed，1958)，猪(Lopes，2001)，鳄鱼(Watson and Carlton，2003)，兔(Bharti and Singh，2003)，人(Rodriguez，1983)及大象(Coe，1978)等十几种动物及人作为模拟材料,分别采用了地面裸露(大部分)、土埋(Vanlaerhoven，1995)、火烧(Avila，1998)、水淹

表 5 冬季尸体腐败时间及嗜尸性昆虫的演替

Table 5 Succession of necrophagous insects on carcasses in winter

PMI (d)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22
温度 (℃) Temperature		13	19.5	21.5	16.5	14	14	20.0	22.0	23.5	23.0	20.5	14.5	17.0	22.3	24.0	23.5	24.0	24.3	25	23.5	25	22
Ⅰ	A	+	+	+	−	−	−	+	+	+	+ +	+ +	+ +	+ +	+++	+++	+++	+++	+ +	+	+	+	+
	L	−	−	−	+	+	+	+	+	+ +	+++	+++	+++	+++ +	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Ⅱ	A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+++	+++	+++	+ +	+	+	+	+
	L	−	−	−	+	+	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++ +	+++
Ⅲ	A	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	L	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+
Ⅳ	A														+	+	+	+	+ +	+++	+++	+++	+++
	L																						
Ⅴ	A																						
	L																						
Ⅶ	A											+				+	+	+		+ +	+ +	+ +	+ +
	L																						

PMI (d)		24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	444	46	48	50	54	58	62	64	66	70	74	78
温度 (℃) Temperature		24	17	20	16.0	17	8	8	13.0	21.0	21.2	21.0	22.0	23.5	7	10	18	25	26.0	22.0	22.0	16.0	15.0
Ⅰ	A	+	−	+ −	+	+ −	+	+	−	+	+	−	−	−	−	−	+	+	+	−	−	−	−
	L	+	+	+ +	+ +	+ +	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Ⅱ	A	+	+	+	+ +	+	+	−	−	+	+	+	+	+	−	−	+	+	+	+	+	−	−
	L	+++	+++ +	+++	+++	+++	+++	+++	+ +	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−
Ⅲ	A	+	−	+	+ +	+	−	−	−	+ +	+ +	+ +	+	+	−	−	+	+	+	+	+	+	−
	L	+	+ +	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+ +	+	+	+	+
Ⅳ	A	+++	+++ +	+++	+++	+++	− −	−	+ +	+++				+++	+	−	+		+		+	+	+
	L			+			−	−	−							−						−	−
Ⅴ	A	+	+ +	+++	+ +	+ +	− −	−	−					+		− −	+		+	+	+	+	+
	L						−	−	−							−						−	−
Ⅶ	A	+ +	+ +	+++	+++	+++	− −	−	+	+				+	+	−	+				+	+	+
	L			+			−	−	−					+	+	−						−	−

(Anderson，1996)等环境研究了尸体腐败过程出现的主要节肢动物(Payne，1965；Early and Goff，1986；Goff，1993)、尸体的腐败阶段(Reed，1958；Payne，1965；Lord and Burger，1983)、昆虫的发生规律等。我国周红章等(1997)、马玉堃等(2000)也开展了类似工作。

嗜尸性昆虫种类繁多，活动性强，容易飞走及躲藏，种类鉴定困难，建立在依据昆虫种类数量基础上的演替规律判断死亡时间对于案发现场一线人员非常困难。而昆虫的产卵、化蛹、羽化等现象容易被观察到，不论是蝇类还是甲虫，其在尸体上繁殖的子代的情况实实在在地反映了尸体的腐败历程，更真实地反映了尸体的死后时间，所以也就成为死亡时间推断的重要指标。以往根据昆虫变态规律判断死亡时间主要是根据实验室精确控制的数据，但案发现场的昆虫发育常常因受到变温、降雨、种群竞争等影响而与实验室不同。本文首次对常见蝇类在尸体生态环境中的变态规律进行了观察，同时也对尸体的腐败历期及各种昆虫在尸体上的发生规律做了观察。结果表明，蝇类昆虫的产卵、幼虫龄期变化、化蛹、羽化等现象是推断死亡时间的重要指标，研究明确了不同季节变态现象出现的确切时间。尸体腐败历期的研究表明在珠江三角洲地区尸体腐败很快，从新鲜到白骨化的时间除冬季外，不超过两周。本文有关尸体腐败进程的结果与美国夏威夷(Tullis and Goff，1986)、印度(Bharti and Singh，2003)和埃及(Tantawi *et al*.，1996)的研究结果是一致的。由于条件有限，本研究没有用人类尸体作为模拟材料，但在本试验中动物腐败进程和同期发生的一些已知死亡时间的人类尸体的腐败进程是一致的。

应用嗜尸性昆虫判断死亡时间时最担心的就是不清楚该幼虫或蛹是第几代。经过本试验发现在珠江三角洲的春、夏、秋等大部分时间，丽蝇昆虫在尸体上只能发生一代，尸体的肌肉组织即被吃尽。但是，如果下雨尸体变得潮湿，则可能出现第 2 代，但是此时尸体只余残骸，可以明显的被辨认出来。在

尸体上发生的这一代蝇类不是同时出现，而是根据不同情况分为多个批次，如果是晚上或早晨出现的尸体，由于有一整天的时间供产卵，则第一批次的个体数量非常多。如果是后半天或黄昏出现的尸体，则由于产卵时间比较短而第一批次的个体数量比较少。其后的幼虫演替则不同。第 1 批次幼虫数量多的尸体，幼虫对以后出现的个体有抑制作用，所以这批昆虫直至化蛹个体都在尸体上占优势，肉眼看起来尸体上的幼虫发育大小比较一致，化蛹及羽化时间也一致。而第 1 批次幼虫数量少的个体，无法对以后的个体产生抑制作用，所以第 2 批次数量将非常多而掩盖了第 1 批次，第 2 批幼虫将在尸体上占绝对优势并对以后出现的个体产生抑制。以上现象国内外尚未见有报告，有待于进一步深入研究。

尸体的死后变化是一个自然的过程，受很多因素影响。迄今为止，几乎没有方法可用于精确的死亡时间推断。如果过于追求根据昆虫推断死亡时间的精确性，我们会因挫折而失去信心。在本研究中，我们改变了思维方式，不追求死亡时间推断的连续变量，而是努力寻找在尸体降解过程中，昆虫的演替规律以及昆虫的变态和发育过程中的关键时间点。有了这些关键点，我们可以将死后时间划分为很多阶段。在实际应用时只要清楚尸体处于那些关键点之间即可确定死亡时间。在本研究所涉及的昆虫中，丽蝇是最重要的，在春季、夏季和秋季它们均在死后立即到达尸体，而在冬季直到第 7 天才到达尸体。它们接下来的活动和表现可以告诉我们它们在尸体上生活了多长时间了。黑蝇对于法医尸检同样十分重要，特别对于死亡时间超过 30 天的尸体，因为这个时间段黑蝇仍旧很活跃，其次甲虫同样也很活跃。但我们认为甲虫成虫有不确定的因素，由于它们活动的隐蔽性常常不易被发现，而幼虫由于是在尸体生态环境产生的，其出现比成虫更稳定，所以甲虫幼虫更具法医学重要意义。

本文进一步的工作将对幼虫的群体生态学及甲虫在尸体环境的演替规律进行研究。

致谢 感谢中国科学院动物研究所周红章研究员、中山大学生命科学院贾风龙副教授帮助鉴定有关标本。中山市公安局刑事科学技术研究所全体同仁，特别是程新志副局长、叶永忠支队长及梁敏捷法医，广州市公安局刑事科学研究所所长刘超，广州市番禺区公安分局贵凌峰及盛晓斌法医亦为本论文的完成作出很大贡献，在此一并致谢。

参 考 文 献（References）

Amendt J，Krettek R，Zehner R，2004. Forensic entomology. *Naturwissenschaften*，91：51－65.

Anderson GS，1995. The use of insects in death investigations：an analysis of cases in British Columbia over a five year period. *Can. Soc. Forensic Sci.*，28：277－292.

Anderson GS，1996. Initial studies on insect succession on carion in southwestern British Columbia. *J. Forensic Sci.*，41：617－625.

Anderson GS，2000. Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae（Diptera）. *J. Forensic Sci.*，45：824－832.

Archer MS，Elgar MA，2003. Yearly activity patterns in southern Victoria（Australia）of seasonally active carrion insects. *Forensic Sci. Int.*，132：173－176.

Arnaldos MI，Romera E，Presa JJ，Luna A，2004. Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *Int. J. Legal Med.*，118：197－205.

Avila FW，Goff ML，1998. Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *J. Forensic Sci.*，43(3)：581－586.

Benecke M，1998. Six forensic entomology cases：description and commentary. *J. Forensic Sci.*，43：797－805.

Bharti M，Singh D. 2003. Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab，India. *J. Forensic Sci.*，48(5)：133－143

Bourel B，Torune Gl，Hedouin V，2004. Entomofauna of buried bodies in northern France. *Int. J. Legal. Med.*，118：215－220.

Campobasso CP，Vella GD，Introna F，2001. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Sci. Int.*，120：18－27.

Carvalho LML，Linhares AX，2001. Seasonality of insect succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in southeastern Brazil. *J. Forensic Sci.*，46：604－608.

Catts EP，Haskell NH，1990. Entomology and Death：A Procedural Guide. Joyce's Print Shop Inc.，Clemson，SC.

Davis JB，Goff ML，2000. Decomposition patterns in terrestrial and intertidal habitats on Oahu Island and Coconut Island，Hawaii. *J. Forensic Sci.*，45：836－842.

Early M，Goff ML，1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu，Hawaiian Islands，USA，*J. Med. Entomol.*，23：520－531

Goff ML，1993. Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional patterns. *Forensic Sci. Rev.*，5：81－94

Jason HB，James LC，2001. Forensic Entomology：the Utility of Arthropods in Legal Investigations. CRC Press，Boca Raton.

Lopes DC，Linhares AX，2001. Seasonality of insect succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in southeastern Brazil. *J. Forensic Sci.*，46(3)：604－608

Lord WD，Burger JF，1983. Collection and preservation of forensically important entomological materials. *J. Forensic Sci.*，28(4)：936－942

Ma YK，Hu C，2000. A preliminary study on the constitution and succession of insect community on pig carcass in Hangzhou. *Acta Entomol. Sin.*，23：375－380.［马玉堃，胡萃，闵建雄，2000. 杭州地区猪尸体上

昆虫群落的组成与演替的初步观察. 昆虫学报,23(4):375-380]

Mégnin P, 1894. La faune des tombeaux. Encyclopédie scientifiques des aide memoire. Masson, Gauthier-villars et Fils, Paris.

Payne JA, 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology*, 46:592-602.

Reed HB, 1958. A study of dog carcasses communities in Tennessee, with special reference to the insects. *The American Midland Naturalist*, 59: 213-245.

Rodriguez WC, Bass WM, 1983. Insect activity and its relationship to decay rates of human cadavers in east Tennessee. *J. Forensic Sci.*, 28:423-432.

Rodriguez WC, Bass WM, 1985, Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *J. Forensic Sci.*, 30:836-842.

Tantawi TI, El-Kady EM, Greenberg B, El-Ghaffar HA, 1996. Arthropod succession on exposed rabbit carrion in Alexandria, Egypt. *J. Med. Entomol.*, 33:566-580

Tullis K, Goff ML, 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawai'I. *J. Med. Entomol.*, 24:332-339.

Turchetto M, Vanin S, 2004. Forensic entomology and climatic change. *Forensic Sci. Int.*, 146:S207-S209.

Watson EJ, Carlton CE, 2003. Spring succession of necrophilous insects on wildlife carcasses in Louisiana. *J. Med. Entomol.*, 40(3):338-347.

VanLaerhoven SL, Anderson GS, 1999. Insect succession on buried carrion in two biogeoclimatic zones of British Columbia. *J. Forensic Sci.*, 44(1):32-43.

Wolff M, Uribe A, Ortiz A, Duque P, 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellin, Colombia. *Forensic Sci. Int.*, 120:53-59.

Zhou HZ, Yang YP, Ren JC, Wang SY, Liu L, Shao B, Sun DJ, 1997. A study on the forensic entomology Ⅱ. The succession of insects in corpse at the postmortem decomposing period and timing of death. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 12(2):79-82. [**周红章,杨玉璞,任嘉诚,王书永,刘力,邵波,孙德江**, 1997. **北京地区法医昆虫学研究**Ⅱ **尸体分解过程中昆虫种类演替与死亡时间推断. 中国法医学杂志**,12(2):79-82]

(责任编辑:袁德成)